Über den Einfluß äußerer elektrischer Felder auf die tierischen Zellen

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde der hohen medizinischen Fakultät der Friedrich-Alexanders-Universität Erlangen

vorgelegt von

Wilhelm Leupold

aus Nürnberg.

Tag der mündlichen Prüfung: 26. Mai 1937

1938

Verlags- und Dissertationsdruckerei Carl Beck, Eisfeld i. Thür.

1938/62

Referent: Prof. Dr. Dr. Hermann Wintz.
Dekan: Prof. Dr. Richard Greving.

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Gewidmet meiner lieben Frau
Luise Leupold.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41533902_0130

Über die Beeinflussung der tierischen Zellen durch elektrische Felder wurde besonders zu jener Zeit von einer bestimmten Seite sehr viel geschrieben, in der die sogenannten „Erdstrahlen" als die Urheber aller Krankheiten, besonders auch der Krebskrankheiten, bezichtigt wurden. Es sollen nach Angaben der Vertreter dieser Erdstrahlentheorie nicht nur die tierischen, sondern auch die pflanzlichen Gewebe in ihrem normalen Stoffwechsel gestört werden und damit wäre jeder Organismus, der in dem Bereich dieser Erdstrahlen kommt, Krankheit und Siechtum ausgeliefert. Über den physikalischen Grundlagen dieser Verderben bringenden Erdstrahlen wurde von jenen Autoren immer ein mystisches Dunkel gelassen. Die Wissenschaft Physik kennt die Erdstrahlen nicht.

Für den Biologen und Mediziner ist es nun aber doch zum mindesten interessant, einmal experimentell zu untersuchen, ob jene elektrischen Felder, denen der tierische Organismus im täglichen Leben ausgesetzt ist, irgendwie eine physiologische Wirkung ausüben können. Über die biologische Wirkung der hochfrequenten Diathermieströme, der Meterwellen der Kurzwellentherapie und des Röntgenlichtes, wurden schon viele Untersuchungsergebnisse veröffentlicht. Es fehlen aber bis heute noch Berichte über Untersuchungen der biologischen Wirkung jener elektrischen Felder, denen der Mensch, besonders der Techniker, allgemein jeder Organismus täglich ausgesetzt ist. Es gehören hierher die elektrischen Felder, die hervorgerufen werden durch die elektrischen Licht- und Kraftleitungen, durch Streufelder von Transformatoren, durch Röntgenanlagen, allgemein eben jene elektrischen Felder, die sich in der Nähe von elektrischen Aggregaten oder zwischen elektrischen Leitungen oder zwischen Letzteren und der Erde ausbilden. Dadurch sind die Ströme und die Spannungen, die zu Versuchen benützt werden müssen, festgelegt.

Um dem gestellten Problem näher zu treten, müssen zunächst einmal die elektrophysiologischen Voraussetzungen klargelegt werden.

Physikalisch-chemisch haben wir es bei den tierischen Zellen, wie überhaupt bei allen Zellen mit heterogenen Systemen zu tun. Unter einem System versteht man in der physikalischen Chemie im allgemeinen ein Gebilde, welches sich aus mehreren Bestandteilen zusammensetzt, die durch Trennungsflächen gegeneinander abgegrenzt sind. Die einzelnen Bestandteile können in ihrer Menge beliebig variieren, aber sie sind in sich homogen. Erst an der Trennungsfläche ändern sich sprunghaft ihre Eigenschaften. Solche Bestandteile eines Systems nennt man seine Phasen. Ein System, das sich aus mehreren Phasen zusammensetzt, heißt man ein heterogenes System. Die Zellen selbst wieder bestehen in der Hauptsache aus Protoplasma. Die wichtigsten Kolloide des Protoplasmas sind die Eiweißkörper, die Leimsubstanzen, die Mucine, die Lecithine, usw. Diese zählen zu den hydrophilen Kolloiden. Die wichtigsten Reaktionen der hydrophilen Kolloide spielen sich zwischen ihnen und den Salzen der Alkalien und der alkalischen Erden ab, also zwischen denjenigen Salzen, welche zu den regelmäßigen Bestandteilen des Protoplasmas gehören. Im Gegensatz zu den hydrophilen Kolloiden, die sich durch Affinität zum Lösungsmittel auszeichnen, unterscheiden wir noch die hydrophoben oder Suspensions-Kolloide, die keine Affinität zum Lösungsmittel besitzen.

Welche Wirkungen können nun durch äußere elektrische Felder in einem derartigen System von Zellen ausgeübt werden?

1. Es könnte an die Wärmeerzeugung gedacht werden, wie sie durch elektrische Wechselfelder und die dadurch erzeugten Schwingungen der Ionen in den Zellen hervorgerufen werden.
2. Es wäre möglich, daß durch die äußeren elektrischen Felder eine Verschiebung der elektrisch geladenen Moleküle oder Molekülkomplexe in den Zellen stattfindet und daß dadurch Konzentrationsänderungen und dadurch wieder physiologische Wirkungen hervorgerufen werden.

Die 1. Möglichkeit dürfte bei Verwendungen von derartig geringen Energien, wie sie bei den folgenden Versuchen benützt werden, ausscheiden, da wir aus Diathermie- und Kurzwellentherapie wissen, daß zur Erzeugung von Wärme in tierischen Geweben große Energien nötig sind.

Die 2. Möglichkeit kann man sich durchaus vorstellen, denn es gelingt ja auch, staubige Luft durch äußere elektrische Felder zu entstauben, d. h. also, die geladenen Staubteilchen an eine der geladenen Platten zu verschieben.

Beide Möglichkeiten der Beeinflussung setzen aber voraus, daß in den Geweben elektrisch geladene Teilchen vorhanden sind. Wir müssen uns deshalb besonders mit den elektrischen Eigenschaften der Zellen und der Gewebe befassen.

Die anorganischen Salze der Zellen dissoziieren in Ionen, die in den Zellsäften vorhanden sind. Dadurch ist die elektrische Leitung der Gewebe bedingt.

Eine große Gruppe von Verbindungen, die in den Organismen eine wichtige Rolle spielen, dissoziiert in eigenartiger Weise. Es sind dies die sogenannten amphoteren Elektrolyte oder Ampholyte. Darunter versteht man nach Bredig Körper, die sowohl H^+- als auch OH^- abdissoziieren können. Sie sind also sowohl Säuren als auch Basen. Ihre Dissoziation kann nach folgenden Gleichungen verlaufen:

1. $HROH = HR^+ + OH^-$
2. $HROH = H^+ + ROH^-$
3. $HROH = H^+ + R^{+-} + OH = R^{+-} + H_2O.$

Da die Eiweißkörper aus Aminosäuren aufgebaut sind, so müssen sie, falls man sie überhaupt mit den Elektrolyten vergleichen kann, sich wie amphotere Elektrolyte verhalten. Bredig hat zuerst die Eiweißkörper auf Grund folgender Beobachtung von Hardy zu den amphoteren Elektrolyten gezählt:

Wenn man durch eine Albuminlösung, welche mit einer Spur Säure versetzt ist, einen konstanten Strom leitet, so konzentriert sich das Eiweiß um die Kathode. Setzt man eine Spur Lauge zu, so sammelt es sich an der Anode. Es sieht also aus, als ob man es beim Albumin mit einem Elektrolyten von der Struktur H. Alb. OH zu tun hat.. Dieser dissoziiert in Säure gelöst nach folgender Gleichung:

$$H.\,Alb.\,OH = H.\,Alb.^+ + OH$$

in Lauge gelöst nach der Gleichung:

$$H.\,Alb.\,OH = H^+ + Alb.\,OH$$

Auch sind Eiweißkörper in quantitativer Hinsicht darin als Ampholyte legitimiert, daß der isoelektrische Punkt,

also die H^+-Konzentration, bei welcher im Potentialgefälle keine Wanderungsrichtung bevorzugt ist, mit dem Ausflockungsoptimum der Eiweißkörper, also mit dem Löslichkeitsminimum, im Allgemeinen zusammenfällt. Dieses wurde z. B. am Kaseïn nachgewiesen von Michaelis und Rona.

Bei einer Wasserstoffzahl = J, muß nach Michaelis aber auch die Konzentration der Ampholytkationen = Ampholytanionen sein. J = isoelektrischer Punkt des Ampholyten, d.. h. jener Zustand, bei dem im Potentialgefälle die Wanderung des Ampholyten nach beiden Elektroden den gleichen Betrag haben muß.

Fast alle Kolloide sind geladen. Der Beweis wird dadurch geliefert, daß sie im Potentialgefälle entweder zur Anode oder Kathode wandern.

Whitney und Blake fanden, daß bei einem Potentialgefälle von 1 Volt pro cm, für verschiedene Kolloide eine Wanderungsgeschwindigkeit von $10—40 . 10—^5$. cm/sec. besteht. Für Lycopodium fand Qincke $25 . 10—^5$ cm. Der Durchmesser der einzelnen Teilchen beträgt dabei ca. 30 μ. Daraus ergibt sich also, daß die suspensionskolloiden Teilchen, sowohl mit den Körnern einer Suspension, als auch mit den Ionen verglichen werden können. Eine Kolloidlösung verhält sich wie eine Elektrolytlösung, in der entweder die Anionen oder Kationen außerordentlich groß sind.

Man hat mit Hilfe der Kataphorese festgestellt, daß die roten Blutkörperchen, ebenso wie die Spermatozoen negativ geladen sind. Es gelingt auch, bei den Blutkörperchen eine Umladung zu erzielen, durch Zusatz von Al^{+++} oder Fe^{+++}. Es wandern dann die Blutkörperchen im elektrischen Felde nicht mehr zur Anode, sondern zur Kathode. Dies kann auch erreicht werden durch Zusatz von 0,05 % Essigsäure oder durch Auswaschen der Blutkörperchen in CO_2. Die CO_2-Einwirkung ist wie die Essigsäure-Einwirkung eine Säurewirkung. Angriffspunkte sind die anodischen Plasmahaut-Kolloide der Blutkörperchen, welche unter der Einwirkung der positiven H-Ionen ihre negative Ladung abgeben und positiv werden. Auch Seeigel-Spermatozoen kann man in steigenden Mengen von HCl umladen und kann beobachten, daß bei einer bestimmten Acidität die Spermatozoen unbeweglich sind. Die Entladung kommt durch die positiven H-Ionen zustande.

Von außerordentlicher Bedeutung ist die Größe der elektrischen Ladung der Blutkörperchen für deren Agglutinabilität. Der Zusammenhang zwischen Agglutinabilität und Ladung ergibt sich besonders eindrucksvoll beim Studium der Sedimentierungsgeschwindigkeit in Eiweißlösungen. Fåhraeus hat die Beobachtung gemacht, daß die roten Blutkörperchen im Gravidblut und in dem Blute von Personen, die akut oder infektiös erkrankt sind, mit erhöhter Geschwindigkeit sedimentieren.

Suspendiert man Blutkörperchen statt in Plasma oder Serum in Fibrinogen, Globulin oder Albuminlösungen, so zeigt sich, daß Agglutination und Sedimentierung in Fibrinogen am raschesten, in Albumin am langsamsten vor sich gehen. Dieses ist nun so zu erklären, daß ihre Elektronegativität umso geringer ist, je größer die Agglutinabilität der Blutkörperchen in den verschiedenen Lösungen ist. Die molekularen Attraktionskräfte zwischen den Blutkörperchen überwiegen also umsomehr, je kleiner die elektrischen Abstoßungskräfte werden. Die Ladungsänderungen kann man auf kataphoretischem Wege bestimmen.

Die Eiweißkörper bilden als oberflächenaktive Stoffe eine Adsorptionshülle um die Blutkörperchen und die so entstandenen Blutkörperchen-Eiweißkomplexe sind Träger einer elektrischen Ladung, deren Größe von der Größe der Dissoziierbarkeit der jeweils angreifenden Eiweißkörper abhängt. Der isoelektrische Punkt ist:

für Albumin : $P_h = 4{,}7$

für Globulin : $P_h = 5{,}4$

für Fibrinogen : P_h ungefähr zwischen 6 und 7,4.

Wenn also Albumin Blutkörperchen umhüllt, müssen sie infolge der relativ stärksten Dissoziation die relativ stärkste negative Ladung tragen, die mit Fibrinogen umhüllten Blutkörperchen die schwächste Ladung. Es kann die negative Ladung des Fibrinogen-Blutkörperchens infolgedessen so gering sein, daß sie bereits unterhalb des für die Flockung kritischen Potentials gelegen ist.

Wäscht man Blutkörperchen wiederholt, um sie von ihrer Eiweißhülle zu befreien, so nimmt ihre Negativität immer mehr zu. Dieses beruht wahrscheinlich darauf, daß nun das in der Oberfläche der Blutkörperchen enthaltene Lecithin für ihre Ladung mehr zur Geltung kommt. Der isoelektrische Punkt des Lecithins liegt erheblich weiter im Saueren als das der Bluteiweißkörperchen. Ungefähr jenseits $P_h = 3$.

Durch das Eiweiß kann also das Lecithin vollkommen maskiert werden.

Es agglutinieren sorgfältig gewaschene Blutkörperchen in saueren Puffergemischen erst in der Gegend von $P_h = 3$. Man kann sie aber durch Umhüllung mit verschiedenen Eiweißkörpern entladen, sodaß sie nun leichter durch H^+ agglutiniert werden, nämlich ungefähr in den isoelektrischen Punkten der betreffenden Eiweißkörper. Fibrinogen-Blutkörperchen flocken also bei der geringsten, Globulin-Blutkörperchen bei größerer und Albumin-Blutkörperchen bei der größten H^+-Konzentration. Wir kommen deshalb zu dem Schluß: daß die Adsorption von Ionen speziell die Adsorption von Eiweiß-Ionen bei der Entstehung der Grenzflächen-Potentiale der Blutkörperchen eine ausschlaggebende Rolle spielt.

Mit Hilfe von elektrischen Feldern können nun alle geladenen Teilchen innerhalb eines Systems verschoben werden. Die Verschiebung bewirken die elektro-kinetischen Kräfte. Die elektrokinetischen Erscheinungen wurden 1809 von Reuss entdeckt und von Wiedemann und Quincke weiter erforscht.

Die meisten festen Stoffe, welche man in feiner Zerteilung im Wasser suspendiert, bewegen sich zum anderen Pol, wenn man in das Wasser ein Potentialgefälle hineinbringt. Umgekehrt verschiebt sich das Wasser gegen die festen Stoffe, wenn diese eine poröse Masse bilden oder die Wand eines Kapillarrohres darstellen.

Man bezeichnet den ersten Vorgang als Kataphorese (Bewegung der Teilchen im Potentialgefälle), den zweiten Vorgang als Elektroosmose (Bewegung der Flüssigkeit im Potentialgefälle).

Die meisten Teilchen, die man im Wasser suspendiert, bewegen sich kataphoretisch zum positiven Pol, sie sind also gegen das Wasser negativ geladen. Dahin gehören: Eiweißkörnchen, Lecithin, Kohle, Glas, Schwefel.

Die Wasserteilchen bewegen sich durch Diaphragmen oder sonstige poröse Formen aus derartigen Stoffen. Sie werden durch Elektro-Osmose zum negativen Pol geschoben.

Woher rührt nun die Ladung der festen Substanzen, gegen das Wasser oder gegen eine andere Flüssigkeit?

Für reine Flüssigkeiten gilt die Coehnsche Regel, nach der sich ein Stoff mit der größeren Dielektrizitätskonstanten immer positiv lädt gegen einen Stoff mit niedrigerer Dielektrizitätskonstanten. Es werden daher gegen reines Wasser, welches die höchste Dielektrizitätskonstante besitzt, die meisten Stoffe negativ geladen. Dies gilt vor allem für die reinen organischen Lösungsmittel.

Dazu kommt aber noch die für uns außerordentlich wichtige elektrolytische Dissoziation, die sich vor allem in dem Einfluß von im Wasser gelösten Elektrolyten auf die Ladung einer angrenzenden zweiten festen oder flüssigen Phase geltend macht. Es wirkt aber auch noch die Abhängigkeit des Grenzpotentials von der elektrolytischen Beschaffenheit der zweiten Phase selbst.

Grundlegend sind hier die Versuche von Perrin: es geht reines Karborund durch ein Diaphragma von Chromchlorid von vorneherein im Gegensatz zum gewöhnlichen Verhalten zur Anode. Durch Lauge wird diese Bewegung umgekehrt. Gibt man jedoch Säure dazu, dann setzt eine verstärkte Wanderung zur Kathode ein. Es können also offenbar durch Lauge und Säure die Grenzpotentiale zwischen Karborund und Wasser oder Chromchlorid und Wasser verstärkt, geschwächt, aufgehoben und umgekehrt werden. Wichtig ist dabei, daß die ersten kleinen Zusätze von Elektrolyt den stärksten Einfluß auf die elektrokapillaren Vorgänge ausüben.

Von besonderer Bedeutung ist der Einfluß der Elektrolyte auf die Kataphorese. Die meisten Suspensionen im Wasser wandern im Potentialgefälle zur Anode. Es gelingt nun leicht, viele dieser Teilchen (Kohle, Karminkörnchen, Oelkügelchen, Klümpchen von Eiweiß oder Lecithin) nicht bloß zu entladen, sondern auch durch ein wenig Säure umzuladen, sodaß sie zur Kathode gehen. Ebenso kann man sie durch ein wenig der dreiwertigen Kationen Al^{+++} und Fe^{+++} positiv machen. Die Änderung der Grenzpotentiale bei der Berührung von festen Stoffen oder Flüssigkeiten mit Elektrolytlösungen wird dabei bedingt durch die ungleiche Adsorption der Kationen und Anionen der Elektrolyte.

Nach Höber haben wir uns die Struktur der Phasengrenze, an der der Adsorptions-Potentialsprung gelegen ist und den Vorgang folgendermaßen vorzustellen:

Die unmittelbar an die Oberfläche der zweiten Phase angrenzenden Schicht der wässerigen Lösung wird durch Adhaesionskräfte unverschieblich festgehalten. Gegen diese Schicht verschiebt sich bei der Elektroosmose durch die tangential wirkende elektromotorische Kraft die übrige Lösung.

Die Ionen-Adsorption ist bei verschiedenen Adsorbentien unterschiedlich. Die Beziehungen zwischen der elektrischen Ladung des Adsorbens und der Ladung der in Lösung befindlichen Ionen äußern sich nicht bloß in Änderungen der elektro-kinetischen Vorgänge, sondern sie können sich auch chemisch dokumentieren. Gewisse Adsorbentien bevorzugen basische und andere wieder Säurefarbstoffe, wobei die ersteren negativ, die letzteren positiv geladen sind. Es wird z. B. der negative Säurefarbstoff Kristallponceau von der negativen Wolle wenig aufgenommen. Sobald man aber Säure hinzusetzt und dadurch der Wolle eine positive Ladung erteilt, wird der Farbstoff in stärkerem Maße adsorbiert. Setzt man dagegen Alcali hinzu, so wird die Adsorption durch die noch stärkere Negativierung der Wolle fast gleich Null.

Die weitgehende chemische Differenzierung der Gewebe und Säfte im tierischen Körper ist vermutlich auf die verschiedene elektrische Ladung der einzelnen Zellen zurückzuführen. Es erfordern auch die Probleme der Resorption und Sekretion die Untersuchung der Frage, wie weit hier elektrokinetische Kräfte mitwirken. Bei schweren Erkrankungen, im Fieber, bei Erschöpfungs- und Schwächezuständen, bei Graviden, treten evtl. Umladungen der Zellen auf. Dies äußert sich auch darin, daß bei schweren Erschöpfungskrankheiten, eine abnorm rasche Senkung der roten Blutkörperchen auftritt, die, wie wir schon gesehen haben, auf einem Potentialverlust der Oberflächenladung beruht. Dadurch besteht eine verringerte Abstoßungskraft zwischen den einzelnen Blutkörperchen und die Anziehungskräfte bewirken eine raschere Senkeng. Man weiß auch, daß beim Gesunden die Blutkörperchensenkung am Morgen nach der Nachtruhe viel geringer ist, als abends, wenn der Körper müde und abgearbeitet ist. Es zeugt dies ebenfalls nur davon, daß während der körperlichen Tätigkeit die negative elektrische Ladung offenbar langsam geringer wird.

Vielleicht gibt es auch im Körper Drüsen, nach Art der innersekretorischen Drüsen, vielleicht sind es

sogar letztere selbst, deren Sekret eine aufladende Wirkung auf die Gewebe ausübt, oder doch wenigstens Anlaß zu einer bestimmten Ionen-Verschiebung gibt, und damit eine andere Ladung der Zellen erzeugt. Bei Dysfunktion dieser Drüsen werden sich dann auch die elektrischen Ladungen der Zellen ändern und damit andere physiologische Lebensbedingungen der Zellen erzeugen. Vielleicht führen diese dann zu bestimmten Erkrankungen, wie wir sie eben bei Erkrankungen von innersekretorischen Drüsen, wie Schilddrüse, Nebenniere usw. kennen.

Die Zukunft wird lehren, daß gerade die elektrischen Zustandsänderungen maßgebend für viele biologische Prozesse des tierischen Körpers sind und es wird die Untersuchung in dieser Richtung dazu beitragen, mehr Klarheit über uns heute noch unbekannte Lebensvorgänge zu bringen. Es werden eben im Körper noch mehr physikalische Prozesse, z. B. Ionenverschiebungen und dadurch wieder bedingte elektrische Ladungsänderungen an der Steuerung verschiedener Lebensäußerungen mitwirken, als man bis heute annimmt.

Aus der kurzen Darstellung der elektrophysiologischen Grundlagen der Zellen haben wir gesehen, daß es möglich ist die Ladungen von bestimmten Zellen, von Membranen, von Kolloiden, durch bestimmte Ionenarten zu ändern. Weiterhin haben wir gesehen, daß es möglich ist, die Grenzpotentiale und damit die Austauschmöglichkeit in Zellverbindungen ebenfalls durch Ionen anders zu gestalten. Man kann auch tierische Zellen, wie dies das Beispiel von der Färbung der Wolle zeigt, durch Ionen umladen und zur Aufnahme von Farbstoffen zwingen.

Bei den geschilderten Ladungsänderungen handelt es sich aber um Prozesse, die sich im Innern der Zellen, also physikalisch chemisch ausgedrückt, im Innern eines Systems abspielen. Es können aber auch im Innern derartiger Systeme ohne weiteres Verschiebungen von geladenen Teilchen durch Kataphorese und Elektro-Osmose erfolgen, denn die tierische Zelle ist ja im Stande, Ströme zu erzeugen, deren Vorhandensein wieder Potentialgefälle erfordert. Wilhelm Ostwald, Nernst u. a. haben gezeigt, daß sich erhebliche elektromotorische Kräfte besonders an den Phasengrenzen erzeugen lassen, wenn man sog. „diphasische Flüssigkeitsketten"

aufbaut. Man erhält diese, wenn man an Stelle der gewöhnlichen Kombination von Metallen und Elektrolytlösungen eine Anordnung trifft, bei der wässrige Elektrolytlösungen durch eine zweite Phase voneinander getrennt werden. Dies kann geschehen entweder durch Dazwischengeben einer mit Wasser nicht mischbaren Flüssigkeit oder Einschieben einer Membran mit beschränkter Ionen-Durchlässigkeit. Die Bedingungen für das Auftreten elektrischer Ströme werden geschaffen durch das Zustandekommen von Ionen-Konzentrationsänderungen an den Grenzen oder infolge des Bestehens von Konzentrationsdifferenzen. Es sei hier auch noch erwähnt der Spannungsunterschied zwischen ruhenden und tätigen Protoplasmen (Aktionsströme der Muskeln, der sezernierenden Drüsen usw.).

Wie oben erwähnt, werden bis jetzt nur bioelektrische Zustandsänderungen geschildert, die sich im Innern der Zellen abspielen. Die Problemstellung aber lautet: Beeinflussung der tierischen Zelle durch äußere elektrische Felder.

Nochmals sei als plumpes Beispiel die elektrische Entstaubung angeführt. Nehmen wir an, die geladenen Staubteilchen wären geladene Eiweißkörperchen, die Luft, in der sich die Staubteilchen befinden, entspräche der Zelle, die geladenen Platten stellen das äußere Feld dar, welches die Staubteilchen verschiebt. Es wäre nun durchaus denkbar, auch im tierischen Körper durch Anlegung äußerer elektrischer Felder, ähnliche Verschiebungen von geladenen Teilchen zu erzeugen. Es ist nur dabei daran zu denken, daß eben die innere Reibung in der tierischen Zelle, vielmals größer ist, als in der Luft. Man müßte eben deshalb noch viel höhere Spannungen zur Erzeugung des Feldes nehmen, um die nötigen elektri-kinetischen Kräfte zu erzeugen, als wie zur Entstaubung.. Diese erfordert jedoch schon Spannungen von ca. 50 000 Volt bei einem Elektrodenabstand von 10 cm. Daraus ergibt sich eine elektrische Feldstärke von 5000 Volt/cm. Außerdem wird der tierische Körper jede Ladungsänderung, die durch äußere Einflüsse erzeugt wird, sofort durch irgendwelche physiologischen Schutzmaßnahmen kompensieren, es sei denn, die durch äußere elektrische Felder erzeugten biologischen Zustandsänderungen wären so groß, daß sie eben nicht mehr durch schützende Maßnahmen des tierischen Or-

ganismus ausgeglichen werden könnten. Es müßte sich dies dann aber durch irgendwelche von der Norm abweichende Äußerungen der Lebensfunktionen kundtun. Als einfachste Formen derartiger Umstimmungen wären zu erwähnen: mangelnde Freßlust und Verdauungsstörungen, abnorme Müdigkeit und Schlafbedürfnis, oder vielleicht auch gesteigerte Erregbarkeit und Unruhe. Stärkere Folgen könnten sein, Auftreten von irgendwelchen Krankheiten, Unregelmäßigkeiten in der Fortpflanzung, entweder verkürzte oder verlängerte Tragzeiten, Störungen im Wachstum der Jungen, usw. Es ist deshalb die Ausführung derartiger Versuche durchaus berechtigt, denn auch ein negativer Ausfall darf als Ergebnis gewertet werden. Es wird dadurch nur bewiesen, daß der tierische Organismus imstande ist, den Einfluß von äußeren elektrischen Feldern, wie sie im täglichen Leben auftreten, zu kompensieren.

Es wurden zu den Versuchen nur Spannungen genommen, wie sie im täglichen Leben unter bestimmten Umständen auf den Organismus einwirken können. Als Versuchstiere wurden weiße Mäuse genommen, in elektrische Felder gebracht und dort bis zum Tode beobachtet. Meist war der Zeitraum ca. 1½ Jahre. Als Spannungen wurden verwendet: Gleichstrom von 220 und 440 Volt, Wechselstrom mit einer Spannung von 380 Volt, außerdem das elektrische Feld in der Nähe eines Hochspannungs-Transformators (Betriebsspannung: 190 KV.). Durch den Plattenabstand wurden Feldstärken bis zu 3610 Volt pro cm erzeugt, also Feldstärken, wie sie im täglichen Leben wohl kaum überschritten werden.

Die Versuchsdauer war folgende:

Die Versuchstiere wurden in Glasbehältern untergebracht. Die Elektroden aus Aluminiumplatten lagen an der Außenseite der Glaswandung und waren durch Pertinax-Platten nach Außen isoliert, um vor elektrischen Schlägen bei Berührung zu schützen. Abb. 1.

Damit keinerlei Ladungen im Innern der Behälter durch Influenz erzeugt werden können, waren die Freßnäpfe aus Glas. Oben waren die Behälter durch durchlöcherte Pappscheiben abgedeckt. Die Größe der Glasbehälter war entweder 15 . 20 . 20 cm, oder 18 . 22 . 25 cm. Die Anordnung der Elektroden wurde entweder so

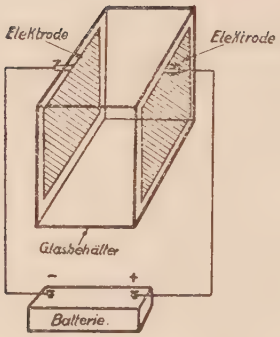

Abb. 1
Die Isolation der Elektroden ist nicht eingezeichnet.

gewählt, daß 2 Elektroden einander gegenüberstanden (Abb. 2) oder es wurden 6 Elektroden gewählt, die immer abwechselnd aufgeladen waren. (Abb. 3).

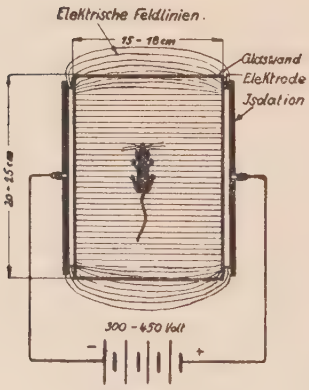

Abb. 2

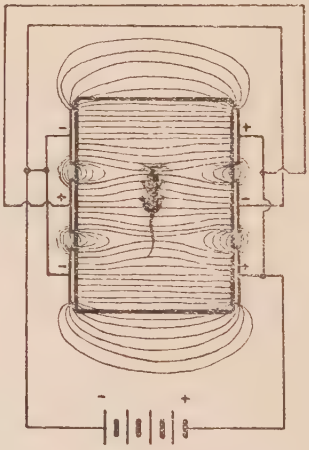

Abb. 3

Es bewegten sich also so die Tiere im Dielektrikum eines Kondensators. Das Dielektrikum war Luft, da man die 4 mm dicke Glaswandung vernachlässigen kann. Den Feldlinienverlauf geben die Abb. 2 und Abb. 3 wieder.

Die Tiere wurden sorgfältig beobachtet und die Beobachtungen in Beobachtungsbögen eingetragen. Da zu erwarten war, daß die Einwirkung der äußeren elek-

trischen Felder eine kumulierende Wirkung erzeugt, wurden die Versuchstiere bis zu ihrem Tode beobachtet. Die Versuchsdauer war ungefähr 1½ Jahre. Bei 2 Versuchen konnten aus technischen Gründen nur 4 Monate Beobachtungszeit genommen werden. Als Nahrung erhielten die Tiere Brot, Weizen, Milch und Wasser. Zu jedem Versuch wurde 1 Kontrollversuch mit gleichaltrigen Tieren angesetzt. Da die Versuchstiere selbst gezogen wurden, war das jeweilige Alter immer genau bekannt. Bei Beginn des Versuches war das Alter 16 bis 20 Wochen. Es wurden folgende Versuche gemacht:

Versuch Nr. 1:

Beginn des Versuches: 23. Juli 34.
Ende des Versuches: 2. Nov. 35.
Versuchsobjekt: 1 Paar weiße Mäuse,
Weibchen gravid.
Alter der Tiere: 16 Wochen
Gesamtspannung: 300 Volt Plattenanordnung:
Plattenabstand: 18 cm Feldstärke: 16,6 V/cm.

Dauer d. Versuches	:	459 Tage
Jungtiere	:	89
Würfe	:	12
pro Wurf	:	7,4 Junge
tot	:	18 = 20,5 %
Intervall zwischen 2 Geburten	:	38,2 Tage
Von 20 Jungen waren:		12 Männchen = 60 %
		40 Weibchen = 40 %

Am 2. Nov. 35 verendet das Weibchen.
Die Sektion ergibt Tod vermutlich an Ileus.
Das rechte Auge ist erblindet. Die Augenlider sind rechts narbig verändert.
Am 3. Nov. 35 wird das Männchen getötet.

Kontrollversuch K 1:

Beginn des Versuches: 23. Juli 34.
Ende des Versuches: 25. Mai 35.
Versuchsobjekt: 1 Paar weiße Mäuse,
Weibchen gravid.
Alter der Tiere: 16 Wochen

Dauer d. Versuches	:	302 Tage
Jungtiere	:	30
Würfe	:	5

pro Wurf : 6 Junge
tot : 5 = 16,6 %
Intervall : 34 Tage

Der Versuch muß abgebrochen werden, da am 25. Mai das Weibchen verendet. Die Sektion ergibt starke Blähung des gesamten Dünndarmabschnittes. Tod vermutlich an Ileus.

Im Vergleich zu Versuch 1 schien das Wachstum der Jungen etwas langsamer zu sein. Auch das allgemeine Gebahren der Jungen war etwas ruhiger als das der Jungen im Versuch 1.

Versuch Nr. 2:

Beginn des Versuches: 28. Juli 34.
Ende des Versuches: 29. Okt. 35.
Versuchsobjekt: 1 Paar weiße Mäuse
mit 9 Jungen
Alter der Jungen: 3 Tage
Alter der Tiere: 18 Wochen
Gesamtspannung: 300 Volt Plattenanordnung:
Plattenabstand: 18 cm Feldstärke: 16,6 V/cm.
Dauer d. Versuches: 451 Tage
Jungtiere : 82
Würfe : 10
pro Wurf : 8,2 Junge
tot : 20 = 24,4 %
Intervall : 38,7 Tage
Von 15 Jungen waren: 10 Männchen = 66,6 %
5 Weibchen = 33,4 %

Am 8. Oktober verendet das Weibchen. Die Sektion ergibt starke Aufblähung des Magens und Dünndarmbereiches. Ileus.

Am 29. Oktober verendet das Männchen. Die Sektion ergibt starke Auftreibung besonders des unteren Dünndarmdrittels. Die Darmschleimhaut ist schwammig und gerötet.

Kontrollversuch K 2:

Beginn des Versuches: 28. Juli 34.
Ende des Versuches: 27. März 35.
Versuchsobjekt: 1 Paar weiße Mäuse
mit 4 Jungen
Alter der Jungen: 4 Tage
Alter der Tiere: 18 Wochen.

Dauer d. Versuches : 239 Tage
Jungtiere : 30
Würfe : 5
pro Wurf : 6 Junge
tot : 1 = 3,3 %
Intervall : 27,2 Tage.

Der Versuch muß früher abgebrochen werden als Versuch 2, da am 5. Januar das Männchen verendet. Die Sektion ergibt eine etwa erbsengroße Geschwulst an der Ausmündung der Blase in die Harnröhre. Blase und Uretheren stark gestaut.

Am 27. März 35 verendet das Weibchen. Die Sektion ergibt starke Blähung des Magens. Verschluß des Magenausgangs.

Versuch Nr. 3:

Beginn des Versuches: 28. Juli 34.
Ende des Versuches: 10. Nov. 35.
Versuchsobjekt: 1 Paar weiße Mäuse
mit 6 Jungen.
Alter der Jungen: 3 Tage
Alter der Tiere: 18 Wochen.
Gesamtspannung: 300 Volt Plattenanordnung:
Plattenabstand: 15 cm Feldstärke: 20 V/cm.
Dauer d. Versuches : 462 Tage
Jungtiere : 111
Würfe : 11
pro Wurf : 10,1 Junges
tot : 33 = 29,7 %
Intervall : 38,9 Tage
Von 32 Jungen waren: 22 Männchen = 68,8 %
10 Weibchen = 31,2 %

Am 4. Nov. 35 verendet das Weibchen.

Die Sektion ergibt: ein von der re. Augenhöhle ausgehendes Geschwulst, welches gegen die Schädelbasis zu, Ausläufer hat. Tod vermutlich durch Gefäßarosion.
Am 10. Nov. 35 verendet das Männchen.

Die Sektion ergibt: starke Blähung des Magens u. Dünndarms. Am Magenausgang Perforation des Darmes.

Kontrollversuch K 3:

Beginn des Versuches: 28. Juli 34.
Ende des Versuches: 18. Nov. 35.

Versuchsobjekt: 1 Paar weiße Mäuse,
Weibchen gravid.
Alter der Tiere: 18 Wochen.

Dauer d. Versuches: 470 Tage
Jungtiere : 89
Würfe : 12
pro Wurf : 7,4 Junge
tot : 17 = 19,1 %
Intervall : 36,6 Tage
Von 24 Jungen waren: 12 Männchen = 50 %
12 Weibchen = 50 %

Am 18. Nov. 35 verendet das Männchen.
Die Sektion ergibt keine Besonderheiten. Tod vermutlich an Altersschwäche.
Am 18. Nov. 35 wird das Weibchen getötet. Die Sektion ergibt keinerlei pathologische Veränderungen.

Versuch Nr. 4:

Beginn des Versuches: 22. Aug. 34.
Ende des Versuches: 5. Nov. 35.
Versuchsobjekt: 1 Paar weiße Mäuse,
Weibchen gravid.
Alter der Tiere: 20 Wochen.

Gesamtspannung: 450 Volt Plattenanordnung:
Plattenabstand: 15 cm Feldstärke: 30 V/cm.
Bemerkung: Dieser Versuch wird zusammen mit Kontrollversuch 4 angesetzt, um das Wachstum der Jungen im Felde und außerhalb des Feldes zu vergleichen.

Dauer d. Versuches: 433 Tage
Jungtiere : 44
Würfe : 9
pro Wurf : 4,9 Junge
tot : 16 = 36,4 %
Intervall : 37,7 Tage
Von 9 Jungen waren: 6 Männchen = 66,6 %
3 Weibchen = 33,4 %

Am 20. Oktober 35 verendet das Weibchen.
Die Sektion ergibt keine pathologischen Veränderungen.
Am 5. Nov. 35 verendet das Männchen.
Die Sektion ergibt starke Blähung des Magens und Darmes. Ileus.

Es konnte im Vergleich mit K 4 keine wesentliche Beschleugigung des Wachstums der Jungen innerhalb des Feldes festgestellt werden.

Kontrollversuch K 4:

Beginn des Versuches: 22. Aug. 34.
Ende des Versuches: 18. Nov. 35.
Versuchsobjekt: 1 Paar weiße Mäuse
Weibchen gravid.
Alter der Tiere: 20 Wochen.

Dauer d. Versuches	:	446 Tage
Jungtiere	:	80
pro Wurf	:	7,3 Junge
tot	:	17 = 21,2 %
Intervall	:	35,4 Tage
Von 23 Jungen waren:		12 Männchen = 52,2 %
		11 Weibchen = 47,8 %

Am 18. Nov. 35 verendet das Männchen.
Die Sektion ergibt keine besonderen Veränderungen.
Am 18. Nov. 35 wird das Weibchen getötet, ebenfalls keine pathologischen Veränderungen.

Versuch Nr. 5:

Beginn des Versuches: 8. Nov. 1936.
Ende des Versuches: 10. Juli 1937.
Versuchsobjekt: 1 Paar weiße Mäuse,
Weibchen gravid.
Alter d. Tiere: 19 Wochen.

Als elektrisches Feld wird das Wechselfeld eines Röntgentransformatores genommen mit einer Betriebsspannung von 190 kV.
Die Aufstellung des Versuchsobjektes ergibt eine Feldstärke von ca. 3,16 kV pro cm.

Dauer d. Versuches	:	182 Tage
Jungtiere	:	28
Würfe	:	5
pro Wurf	:	5,6 Junge
tot	:	—
Intervall	:	28,6 Tage
Von 28 Jungen waren:		9 Männchen = 32,1 %
		19 Weibchen = 67,9 %

Der Versuch mußte aus technischen Gründen nach 4 Monaten abgebrochen werden.
Die Jungtiere haben sich gut entwickelt, die elterlichen Tiere zeigen normales Verhalten und in der folgenden Zeit normale Fortpflanzung. Bei den nächsten 3 Würfen waren jedoch immer mehr Weibchen als Männchen vorhanden.

Kontrollversuch K 5:

Beginn des Versuches: 8. Januar 1936.
Ende des Versuches: 10. Juli 1936.
Versuchsobjekt: 1 Paar weiße Mäuse,
Weibchen gravid.
Alter der Tiere: 19 Wochen.

Dauer d. Versuches	:	182 Tage
Jungtiere	:	27
Würfe	:	5
pro Wurf	:	5,4 Junge
tot	:	3 = 11,1 %
Intervall	:	30,4 Tage
Von 27 Jungen waren:		12 Männchen = 44,4 %
		15 Weibchen = 55,6 %

Der Kontrollversuch wird zusammen mit Nr. 5 abgebrochen.

Versuch Nr. 6:

Beginn des Versuches: 1. Nov. 1936.
Ende des Versuches: 30. März 1937.
Versuchsobjekt: 1 Paar weiße Mäuse
Alter der Tiere: 20 Wochen.
Gesamtspannung: 380 Volt Plattenanordnung:
Plattenabstand: 15 cm Feldstärke: 25,3 V/cm.

Dauer d. Versuches	:	120 Tage
Jungtiere	:	16
Würfe	:	3
pro Wurf	:	5,3 Junge
tot	:	—
Intervall	:	26 Tage
Von 16 Jungen waren:		11 Männchen = 68,8 %
		5 Weibchen = 31,2 %

Der Versuch wird ebenfalls aus technischen Gründen unterbrochen. Die Tiere befinden sich wohl und zeigen auch in der folgenden Weiterentwicklung keine Besonderheiten.

Kontrollversuch K 6:

Beginn des Versuches: 1. Dez. 36.
Ende des Versuches: 30. März 37.
Versuchsobjekt: 1 Paar weiße Mäuse

Dauer d. Versuches	:	120 Tage
Jungtiere	:	21
Würfe	:	4

pro Wurf	:	5,25 Junge
tot	:	4 = 19 %
Intervall	:	28,5 %
Von 21 Jungen waren:		10 Männchen = 47,4 %
		11 Weibchen = 52,4 %

Der Versuch wird zusammen mit Versuch 4 abgebrochen. Als Beispiel wird der gesamte Auszug der einzelnen Tage aus den Beobachtungsbögen der Versuche Nr. 3 und Nr. K 3 angeführt:

Zusammenstellung der Versuche:

Elektr. Feldversuche:	Kontrollversuche:
12 Tiere. 16—20 Woch. alt	12 Tiere. 16—20 Woch. alt
Junge : 370	Junge : 277
pro Wurf: 7,4 Junge	pro Wurf: 6,6 Junge
tot: 87 Tiere = 23,5 %	tot: 47 Tiere = 17 %
Intervall: 34,7 Tage	Intervall: 31,9 Tage
Es waren in 5 Versuchen:	Es waren in 5 Versuchen:
67,2 % Männchen	48,6 % Männchen
32,8 % Weibchen	51,4 % Weibchen
In einem Versuch (Trafo)	
32,1 % Männchen	
67,9 % Weibchen	
Tod der Tiere meist nach ungefähr 1½ Jahren. Die Todesursache war in 5 Fällen vom Darmtraktus ausgehend, in einem Fall Verblutung. 1 Tier wurde getötet. 1 Tier o. B.	Tod der Tiere meist etwas früher. 2 Tiere gingen zu Grunde durch Erkrankungen des Darmtraktus, 2 Tiere wurden getötet, 2 Tiere o. B. 1 Tier verendete an Harnstauung.

Die angeführten Zahlen sind Mittelwerte.

Die während der Versuche nicht zu Grunde gegangenen Tiere wurden zur Weiterzucht verwendet und unterschieden sich nicht von Tieren, die noch nicht in elektrischen Feldern waren.

Zusammenfassung:

Es wurden insgesamt 6 Versuche in elektrischen Feldern durchgeführt. Versuchsobjekte waren 6 Paar weiße Mäuse. Zur Erzeugung des elektrischen Feldes wurden benützt Gleichstrom mit einer Spannung von 300 und 450 Volt und Wechselstrom mit einer Spannung von 380 und 190 000 Volt und 50 Perioden.

Die mit Gleichstrom erzeugten Feldstärken waren: 16,6 Volt/cm, 20 Volt/cm, und 30 Volt/cm. Die längste Versuchsdauer war 462 Tage, die kürzeste 433 Tage.

Die mit Wechselspannung erzeugten Feldstärken betrugen 25,3 Volt/cm und 3160 Volt/cm. Die Versuchsdauer war 120 Tage.

Es konnte während der Versuche kein wesentlicher Unterschied zwischen den Versuchstieren und den Kontrolltieren festgestellt werden. Es wurde beobachtet: das allgemeine Gebahren der Tiere, ihre Fortpflanzung, auftretende Krankheiten und die Todesursache. Entstandene Augenentzündungen mit mehr oder weniger starken Schädigungen des Gesichtsinnern konnten nicht bewertet werden, da diese auch bei den Kontrolltieren ungefähr zu gleichen Zeiten auftraten und wahrscheinlich als Ursache eine Stallinfektion hatten. Die histologische Untersuchung ergab eine unspezifische Entzündung der Augenlider mit kleinen Abscessen in der Conjunctivalschleimhaut.

Die Zahl der beobachteten Fälle ist zahlenmäßig viel zu gering, um die kleinen gesehenen Unterschiede hinsichtlich der Anzahl der Jungen, den Differenzen in den Intervallen zwischen zwei Geburten, dem Verhältnis von Männchen und Weibchen bei den Nachkommen, zu bewerten.

Die Versuche bewiesen jedoch, daß es den Tieren möglich ist, ohne besondere merkbare physiologische Veränderungen zu zeigen, in den angegebenen Feldstärken zu leben. Das heißt also:

Die im täglichen Leben auftretenden Feldstärken üben keinen nachweisbaren Einfluß auf die tierische Zelle aus.

Weiterhin kann aus den Versuchen entnommen werden, auf welche Veränderungen bei Anstellung weiterer derartiger Versuche besonders geachtet werden müßte. In erster Linie wären hier anzuführen: die erhöhte Fruchtbarkeit und die Vererbung des Geschlechtes.

Literatur-Angabe:

Zsigmondy: Zeitschr. f. physik. Chemie 92, 600, 1918.
Pauli: Kolloidchemie d. Eiweißkörper, Dresden 1920.
Hesse: Kolloidzeitschrift 27, 154, 1920.
Bredig: Zeitschr. f. Elektrochemie 6, 33, 1899.
Bredig: Anorganische Fermente, Leipzig 1901.
Michaelis u. Rona: Biochem. Zeitschr. 28, 193, 1910.
L. Michaelis: Biochem. Zeitschr. 19, 181, 1909.
Donnan: Zeitschr. f. Elektrochemie 17, 572, 1911.
Hardy: Zeitschr. f. physik. Chemie 33, 385, 1900.
Whitney u. Blake: Journ. Amerk. Chem. Soc. 26, 1339, 1904.
Quincke: Pogg. Ann. der Phys. 133, 513, 1861.
Fåhraeus: Hygiea 1918, Acta med. scand. 55, 1921.
Heesch: Pflügers Archiv, 190, 198, 1921.
Ley: Pflügers Archiv 197, 599, 1922.
Linzenmeier: Pflügers Archiv 181, 169, 1920.
Höber: Biochem. Zeitschr. 14, 209, 1908.
Wiedemann: Pogg. Ann. d. Phys. 87, 321, 1852.
Quincke: Pogg. Ann. d. Phys. 113, 513, 1861.
Perrin: Compt. rend. d. l'Acad. des Sciences 136, 1388, 1903, 137, 513, 1903.
Coehn: Wiedemanns Ann. 64, 217, 1898.
Höber: Pflügers Archiv 101, 607, 1904, 102, 196, 1904.
Billitzer: Ann. d. Physik 11, 902, 1903.
Freundlich: Zeitschr. f. phys. Chemie 73, 385, 1910.
Powis: Zeitschr. f. phys. Chemie 89, 91, 1914.
Pelet u. Johvet: Kolloidzeitschr. 2, 83, 1907.
Hofmeister: Archiv f. exp. Pathologie 28, 210, 1891.
Nernst: Zeitschr. f. phys. Chemie 9, 140, 1892.
Nernst u. Riesenfeld: Ann. d. Physik 8, 600, 1902.
Beutner: Die Entstehung elektr. Ströme in lebenden Geweben, Stuttgart 1920.

Lebenslauf.

Am 28. November 1905 wurde ich zu Nürnberg als Sohn des Lokomotivführers Johann Wilhelm Leupold geboren. Nach Besuch der Volksschule erfolgte der Übertritt in die Albrecht - Dürer - Oberrealschule zu Nürnberg. Nach 6jährigem Besuch dieser Mittelschule war ich zwei Jahre technischer Praktikant im Ausbesserungswerk der Deutschen Reichsbahn zu Nürnberg und begann im Oktober 1924 das Studium des Maschinenbaues am Ohm - Polytechnikum zu Nürnberg. Im Febr. 1927 beendete ich dieses nach erfolgreicher Ablegung des staatlichen Ingenieursexamens und bestand im März 1930 die Reifeprüfung als Privatstudierender an der Alten Oberrealschule zu Nürnberg. Im Mai 1930 belegte ich an der Friedrich - Alexanders - Universität Erlangen das Studium der Medizin. Das medizinische Staatsexamen wurde am 20. Dezember 1935 beendet. Die Bestallung als Arzt erhielt ich mit Wirkung vom 1. März 1937.

— — — —

Zum Schluß ist es mir eine angenehme Pflicht, Herrn Prof. Dr. Dr. med. et phil. Hermann Wintz, für die Überlassung des Arbeitsplatzes und der Apparate im Röntgenforschungslaboratorium der Universitätsfrauenklinik Erlangen, meinen ergebensten Dank auszusprechen. Herrn Prof. Dr. Kurt Groß vom Physiol. Institut der Universität danke ich für die Korrektur des Physiologischen Teiles. Besonderer Dank gebührt auch dem Leiter des Röntgenforschungslaboratoriums, Herrn Dr. phil. Johannes Laß, der mir die Anregung zu dieser Arbeit gab und mir bei den Versuchen mit manchem wertvollen technichen und physikalischen Rat zur Seite stand.